

مقایسه کارایی روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی در حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان

مهدی عرفانیان^۱، هانا فرج‌اللهی^۱، مهشید سوری^۱ و عطااله شیرزادی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۱۵)

چکیده

هدف از این پژوهش تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی و مقایسه کارایی این روش‌ها در حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان می‌باشد. ابتدا ۱۷ عامل مؤثر در ظهور چشمه‌ها شامل: زمین‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، ارتفاع، نفوذپذیری نسبی سنگ‌شناسی، درصد شیب، جهت شیب، نقشه‌های انحنای (Profile Curvature, Curvature, Plan Curvature)، بارندگی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص حمل رسوب، توان آبراهه، شاخص نمناکی توپوگرافی، پوشش/کاربری اراضی انتخاب شدند. برای صحت‌سنجی روش‌های مذکور از منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد و میزان مساحت زیر این منحنی (AUC) روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی به ترتیب ۰/۸۵/۸، ۰/۷۹ و ۰/۸۹ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که هر سه روش تخمین‌گرهای مناسبی برای تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند. اما روش نسبت فراوانی با مقدار AUC بیشتر به عنوان بهترین روش در شناسایی و پهنه‌بندی پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی معرفی گردید. همچنین صحت‌سنجی نقشه‌های پهنه‌بندی براساس درصد وقوع چشمه‌های آزمایشی، تعلیمی و کل چشمه‌ها نشان داد، نقشه پهنه‌بندی به دست آمده براساس روش‌های رگرسیون لجستیک، وزن‌دهی شواهد و نسبت فراوانی به ترتیب با داشتن مقدار ۰/۴۵، ۰/۵۶ و ۰/۴۵ درصد وقوع چشمه‌ها در طبقه با احتمال وقوع زیاد، بیشترین صحت را دارا شدند.

واژگان کلیدی: چشمه آب زیرزمینی، وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی، ROC، حوزه چهل‌گزی

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: A.shirzadi@uok.ac.ir

مقدمه

با توجه به نیازهای انسان به آب، تلاش برای رسیدن به منابع آب امری ضروری می‌باشد (۱). آب زیرزمینی از یک سو به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین یک پدیده مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به‌حساب می‌آید (۱۸). آب‌های زیرزمینی هر زمان که از راه‌های طبیعی به خارج راه پیدا کنند چشمه را به‌وجود می‌آورند. معمولاً این آب‌ها از محل‌هایی که زمین مقاومت کمتری دارد مانند محل درزه‌ها و گسل‌ها خارج می‌شوند. چشمه‌ها بیشتر در دامنه کوه‌ها و کف دره‌ها ظاهر می‌شوند. بعضی چشمه‌ها در تمام سال جاری هستند و گروهی برای مدت کوتاه و یا به‌طور متناوب آب‌دهی دارند که چشمه‌های فصلی گفته می‌شود (۶). تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی (Groundwater Spring Potential (GSP)، امکان شناسایی چشمه‌های جدیدی که تأمین‌کننده آب مورد نیاز جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت هستند را در زمان خشکسالی فراهم می‌سازد. همچنین به ما اجازه می‌دهد آب قابل استحصال را با صرف زمان و هزینه کمتری تهیه کنیم (۲۲). اگر چه مطالعات متعددی در زمینه آب‌های زیرزمینی در جهان انجام شده است اما بیشتر آنها به بررسی کیفیت و کمیت یا پهنه‌بندی پتانسیل آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند. (۱، ۳، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۵ و ۲۷) در مورد پتانسیل‌یابی چشمه‌های آب زیرزمینی مطالعات در سطح جهان و کشورمان محدود می‌باشند. ازمیر (۲۲) در مطالعه‌ای در منطقه قونیه ترکیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی را با سه روش نسبت فراوانی، وزن‌دهی شواهد و رگرسیون لجستیک تهیه کرد. میزان صحت هر مدل با روش محاسبه سطح زیر منحنی (Area Under the Curve) مشخص شد. مقدار AUC در روش‌های نسبت فراوانی، وزن‌دهی شواهد و رگرسیون لجستیک به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۸ و ۰/۸۴ به‌دست آمد

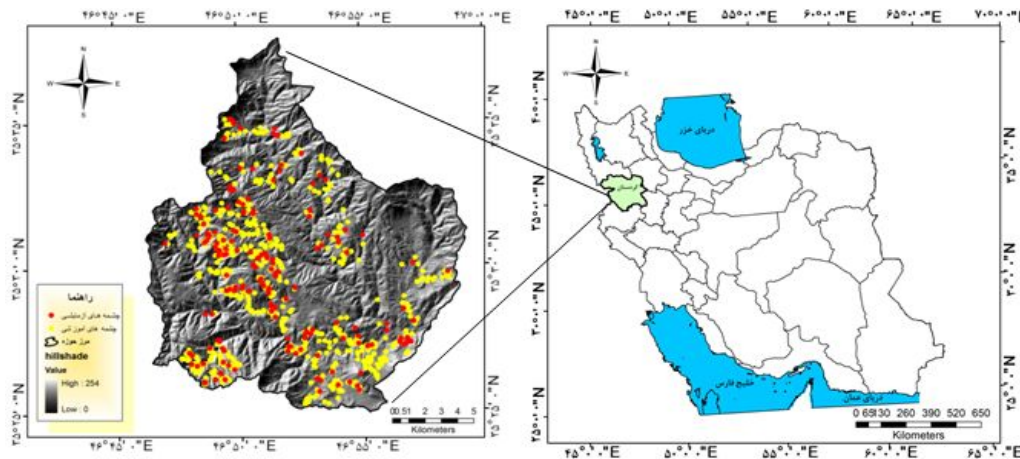
که نشان داد روش نسبت فراوانی و وزن‌دهی شواهد نسبت به روش رگرسیون لجستیک پیش‌بینی بهتری برای رسم نقشه پتانسیل چشمه آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه داشته است. سلیمانی (۲) نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی برای اولین بار در ایران و در حوضه میرده در شهرستان سقز با استفاده از سه روش آماری تحلیل سلسله مراتبی، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی تهیه نمودند. ایشان از ۱۱ عامل ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، انحنای شیب، شاخص حمل رسوب، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل و شاخص NDVI استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد روش تحلیل سلسله مراتبی با داشتن سطح زیر منحنی ROC برابر با ۰/۹۲۶ همراه با خطای استاندارد ۰/۰۰۷، نسبت به روش‌های نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک پیش‌گویی بهتری داشته است. با توجه به تحقیقات محدود در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی انجام پژوهش در این زمینه و بررسی روش‌های نوین آماری و احتمالاتی می‌تواند افق روشنی را پیش روی محققین کشورمان در خصوص مطالعه آب‌های زیرزمینی قرار دهد. هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی فاکتورهای مؤثر در وقوع چشمه‌ها و مهم‌ترین این فاکتورها و تعیین نواحی با پتانسیل بالای وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و خصوصیات فیزیکی، زمین‌شناسی و

اقليمی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهل‌گزی با مساحتی در حدود ۲۷ هزار هکتار واقع در شمال شرقی شهرستان سنندج در استان کردستان و در محدوده مختصات جغرافیایی ۴۵° ۴۶' تا ۵۷° ۴۶' طول شرقی و ۲۵° ۳۵' تا ۲۸° ۳۵' عرض شمالی واقع گردیده است. حوضه‌ای که خروجی آن به نوعی ورودی دریاچه سد قشلاق است. مرتفع‌ترین نقطه حوضه دارای ارتفاع ۲۸۵۹ متر از سطح دریا و کم ارتفاع‌ترین نقطه دارای ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز چهل‌گزی و موقعیت چشمه‌ها در استان کردستان

فراوانی در ابتدا با توجه به آمار شرکت آب منطقه‌ای، بازدید صحرایی و تهیه پرسشنامه چشمه‌های موجود در منطقه شناسایی گردیدند. از تعداد ۸۹۰ چشمه از چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، ۲۰ درصد (۱۸۰ چشمه) به صورت تصادفی به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی جهت آزمایش مدل و ۸۰ درصد به‌عنوان نمونه‌های (۷۱۰ چشمه) آموزشی مورد استفاده قرار گرفت (۱۵) و (۲۲). چشمه‌های آزمایشی (نقاط قرمز) و چشمه‌های آموزشی (نقاط زرد) در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. از چشمه‌های آموزشی در تحلیل‌ها استفاده گردید و اعتبارسنجی نقشه نهایی با استفاده از چشمه‌های آزمایشی انجام شد.

نقشه عوامل مؤثر بر ظهور چشمه‌ها

جهت شناسایی و ارزیابی نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی، باید چندین عامل مرتبط را با نقشه فهرست چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار داد. فاکتورهای متعددی از قبیل: توپوگرافی، زمین‌شناسی، ساختارها، درجه هوازدگی، توسعه درز و شکاف‌ها، نفوذپذیری، درجه شیب، الگوی زهکشی، کاربری ارضی و اقلیم وجود دارند که وقوع و جریان آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کنند (۱۷) و (۲۱). نقشه عوامل مؤثر بر وقوع چشمه‌ها شامل: درجه شیب، جهت دامنه، شکل‌های شیب، کاربری و پوشش اراضی، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از

دریا می‌باشد. تیپ اراضی در این منطقه اغلب کوهستانی، دامنه‌ای، فلات و تراس، دشت دامنه‌ای و آبرفتی می‌باشند. این حوزه تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیکی نسبتاً شدید واقع گشته و طی آن انواعی از شکستگی‌ها در قالب درزه و شکاف و گسل به‌وجود آمده است که اکثراً امتداد آنها در امتداد گسل زاگرس می‌باشد (۴). حوزه از نظر منابع آبی دارای تعداد زیادی چشمه و دو رودخانه دائمی می‌باشد که از شمال و غرب سرچشمه گرفته و به جنوب شرقی آن ختم می‌شوند. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۴۶۴/۲ میلی‌متر و میانگین دما سالیانه منطقه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس روش دومارتن، اقلیم منطقه در رده نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. پوشش گیاهی منطقه صرفاً گونه‌های مرتعی و فاقد گونه‌های درختی و درختچه‌ای است. از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی تیپ غالب منطقه کوهستانی با بیرون‌زدگی سنگی (Outcrop) و جنس غالبیت آندزیت-بازالت (K^{vc})، شیل‌های سنندج (K^s) و آهک (K^{ll}) می‌باشد. خاک منطقه عمدتاً نیمه‌عمیق با بافت غالب شنی-لومی و در رده آنتی‌سول جای دارند. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نقشه موقعیت چشمه‌های آب زیرزمینی

به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت

استوار است (۲۷). وزن‌ها در این روش براساس وجود یا عدم وجود چشمه در منطقه مورد مطالعه به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$W^+ = \ln\left(\frac{P(F/S)}{P(F/S^*)}\right) \quad [4]$$

$$W^- = \ln\left(\frac{P(F^*/S)}{P(F^*/S^*)}\right) \quad [5]$$

$$C = W^+ - W^- \quad [6]$$

که در آن P احتمال، F حضور یک فاکتور، F* عدم حضور یک فاکتور، S حضور چشمه و S* عدم حضور چشمه است. W⁺ و W⁻ به ترتیب بیانگر وزن شواهد وقتی یک فاکتور (مثلاً شیب)، حضور و عدم حضور داشته باشد. مقدار C در واقع کنتراست بین اوزان می‌باشد. مقدار صفر آن بیانگر عدم وجود رابطه بین فاکتور مستقل با فاکتور وابسته (چشمه) می‌باشد. مقدار مثبت و بزرگ‌تر، نشان دهنده همبستگی مثبت و بیشتر بین فاکتور مربوطه با ظهور یا وقوع چشمه می‌باشد. مقدار احتمال پسین P(s) از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\ln(P(s)) = \left\{ \sum W^+ + \ln(P_p(s)) \right\} \quad [7]$$

$$GSP_{WOE} = P(s) = \exp\left\{ \sum W^+ + \ln(P_p(s)) \right\} \quad [8]$$

که در آن P_p(s) احتمال پیشین (Prior Probability) بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_p(s) = \frac{\text{تعداد سلول‌های منطقه}}{\text{تعداد سلول‌های چشمه}} \quad [9]$$

در روش WOE، بعد از محاسبه مقدار W⁺ در تمام طبقات فاکتورها، ابتدا مقدار مجموع وزن‌های مثبت برای هر سلول روی نقشه به دست آمده و سپس احتمال نهایی یا احتمال پسین (Posterior Probability) محاسبه شد که مقدار آن بین صفر تا ۱ می‌باشد. در نهایت با استفاده از نرم افزار Arc GIS مدل به کار گرفته و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی (مقدار صفر تا یک) استخراج شد.

روش رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک حالت خاصی از رگرسیون چندگانه است

آبراهه، نفوذپذیری نسبی سنگ‌شناسی، تراکم گسل، تراکم آبراهه، شاخص حمل رسوب (Sediment Transport Index)، شاخص نمناکی توپوگرافی (Topographic Wetness Index)، شاخص توان آبراهه (Stream Power Index)، زمین‌شناسی و بارش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه، کلاسه‌بندی و با نقشه پراکنش چشمه‌ها تلفیق گردید شکل (۲). به منظور تهیه نقشه‌های (SPI)، (TWI) و (STI) از روابط ۱، ۲ و ۳ استفاده شد. نقشه پوشش و کاربری ارضی نیز از تصویر ماهواره لندست ۸ به تاریخ تیر ۱۳۹۲ و با روش طبقه‌بندی نظارت شده و استفاده از نمونه‌های تعلیمی تهیه گردید.

$$SPI = A_s \times \tan(\beta) \quad [1]$$

$$TWI = \ln(A_s / \tan(\beta)) \quad [2]$$

$$STI = \left(\frac{A_s}{\frac{22}{13}}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin(b)}{\frac{0.0896}{0.0896}}\right)^{1.3} \quad [3]$$

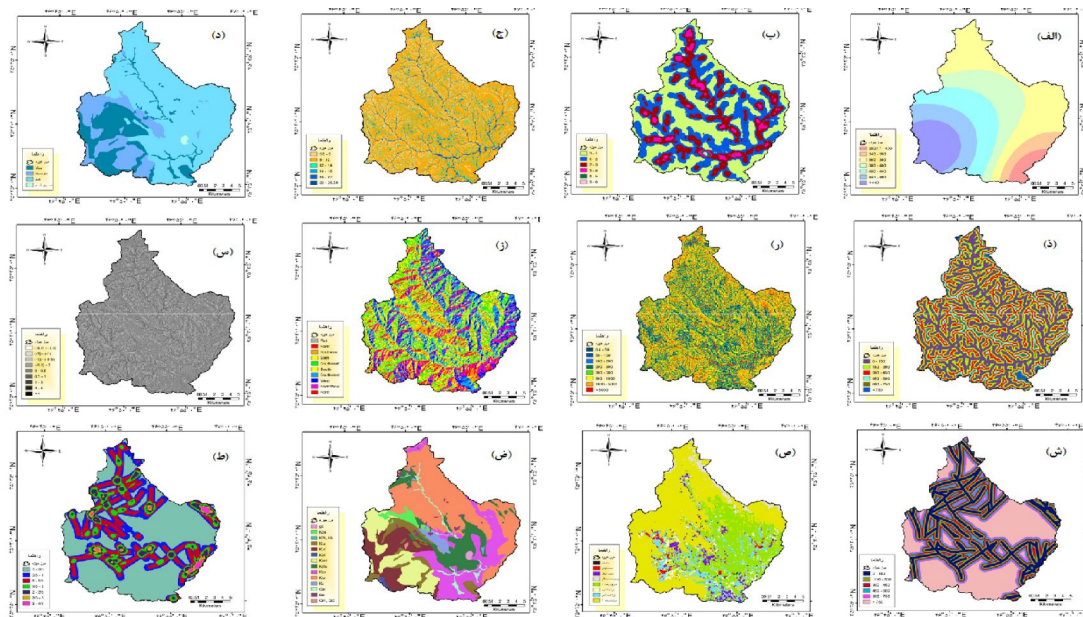
که در آن: A_s: مساحت ویژه بالادست یک پیکسل (مترمربع بر متر) و β شیب پیکسل (رادبان) می‌باشد.

روش انجام پژوهش

نخست، پس از تهیه فهرستی از کلیه عوامل مؤثر در وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی، اقدام به تهیه نقشه‌های رقومی متغیر وابسته (چشمه‌ها) و عوامل مؤثر (متغیرهای مستقل) شد. نقشه‌های به دست آمده با توجه به پراکنش چشمه‌ها طبقه‌بندی شدند. سپس، پهنه‌بندی پتانسیل وقوع چشمه آب زیرزمینی با توجه به هر یک از روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی، انجام شد. اعتبارسنجی روش‌های به کار گرفته شده و نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده به ترتیب توسط منحنی ROC (Relative Operative Curve) و نمودار پراکنش چشمه‌ها (تست، آموزشی و کل چشمه‌ها)، انجام گرفت. در زیر به معرفی روش‌های استفاده شده در این پژوهش پرداخته می‌شود.

روش وزن‌دهی شواهد (Weight of Evidence)

روش وزن‌دهی شواهد بر تئوری بی‌زین در احتمالات شرطی



شکل ۲. نقشه برخی عوامل مؤثر در وقوع چشمه‌های منطقه مورد مطالعه: الف) نقشه بارندگی، ب) تراکم آبراهه‌ها، ج) شاخص نمناکی توپوگرافی، د) نفوذپذیری نسبی سنگ شناسی، ذ) فاصله از آبراهه‌ها، ر) شاخص قدرت آبراهه‌ها، ز) جهت دامنه، س) Profile Curvature، ش) فاصله از گسل‌ها، ص) کاربری و پوشش اراضی، ض) زمین شناسی و ط) تراکم گسل‌ها

متغیر باینری (صفر یا ۱) تعریف شود و مقدار آن یک باشد، بدین معنی است که چشمه وجود داشته (احتمال معادل یک) و اگر مقدار آن صفر باشد، بر عدم وجود چشمه (احتمال معادل صفر) دلالت دارد.

روش نسبت فراوانی

نسبت فراوانی، احتمال ظهور یک ویژگی یا پدیده‌ای خاص است. هر چقدر مقدار این نسبت در یک طبقه یا کلاس یک فاکتور مشخص بزرگ‌تر باشد، بیانگر اهمیت یا نقش بیشتر آن کلاس در فاکتور مربوطه در وقوع چشمه است. نسبت فراوانی برای یک طبقه یا کلاس مشخص از یک فاکتور معین (مثلاً شیب) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$FR = \frac{A/C}{B/D} \quad [12]$$

که A تعداد چشمه‌ها در کلاس مورد نظر، B تعداد کل چشمه‌های موجود در منطقه، C تعداد پیکسل‌های کلاس مورد نظر، D تعداد کل پیکسل‌های مربوط به فاکتور مربوطه (مثلاً شیب) می‌باشد.

که در آن متغیر وابسته، گسسته بوده و تنها دو مقدار ممکن ۰ و ۱ را می‌تواند به خود اختصاص دهد. کاربرد رگرسیون لجستیک، محاسبه احتمال وقوع یک متغیر وابسته (چشمه) براساس متغیرهای مستقل می‌باشد و شرایط استفاده از آن به‌گونه‌ای است که متغیر وابسته حتماً یک متغیر کیفی دو حالتی است. شکل کلی مدل رگرسیون لجستیک به صورت زیر است:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad [10]$$

که Y متغیر وابسته و X_i متغیر مستقل می‌باشند. ضرایب b_i در واقع ضرایب رگرسیون می‌باشند. a ضریب ثابت مدل می‌باشد. میزان احتمال نهایی یا احتمال وقوع چشمه P از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$GSP_{LR} = P = \frac{e^Y}{1+e^Y} \quad [11]$$

مزیت رگرسیون لجستیک نسبت به سایر رگرسیون‌هایی که ضرایب مدل را با روش حداقل مربعات به دست می‌آورند این است که لزومی برای وجود رابطه خطی میان متغیر مستقل و وابسته نمی‌باشد (۲۴) و (۵). چنانچه y به‌عنوان

جدول ۱. ضرایب وزن‌دهی شواهد و نسبت فراوانی تعدادی از عوامل مؤثر بر ظهور چشمه

FR	P	C	W+	تعداد چشمه‌ها	تعداد پیکسل	فاکتورها
						شیب (درجه)
۱/۴۷۰	۰/۰۰۱۵۳	۰/۴۴۸	۰/۳۸۷	۱۱۷	۷۶۵۶۹	۰ - ۵
۱/۵۶۶	۰/۰۰۱۶۳	۰/۵۳۱	۰/۴۵	۱۳۴	۸۲۳۲۶	۵ - ۱۰
۱/۳۳۵	۰/۰۰۱۳۹	۰/۳۷۵	۰/۲۹	۱۸۴	۱۳۲۵۸۶	۱۰ - ۱۵
۰/۸۲۶	۰/۰۰۰۸۶	-۰/۲۳۶	-۰/۱۸۹	۱۲۸	۱۴۹۰۱۷	۱۵ - ۲۰
۰/۷۳۸	۰/۰۰۰۷۶۸	-۰/۳۵۹	-۰/۰۸۹	۹۸	۱۲۷۶۵۶	۲۰ - ۲۵
۰/۳۸۰	۰/۰۰۰۳۹۵	-۱/۰۴	-۰/۹۶۵	۳۰	۷۵۸۸۵	۲۵ - ۳۰
۰/۵۷۰	۰/۰۰۰۵۹۳	-۰/۵۸۰	-۰/۵۶۱	۱۸	۳۰۳۸۲	۳۰ - ۳۵
۰/۱۱۱	۰/۰۰۱۱۶	-۲/۲۰۳	-۲/۱۹۲	۱	۸۶۲۰	۳۵ - ۴۵
۰	۰/۰۰۱۰۳۹	-۰/۰۰۰۵	۰	۰	۳۱۶	۴۵ - ۶۲/۲
						نفوذپذیری
۱/۹۷۸	۰/۰۰۲۰۵۹۱	۰/۹۵	۰/۶۸۴	۲۷۵	۱۳۳۸۲۹	فاقد نفوذپذیری
۰/۸۹۸	۰/۰۰۰۹۳۳۴	-۰/۱۲	-۰/۱۰۷	۱۰۸	۱۱۵۸۱۸	نفوذپذیری کم
۰/۷۳۰	۰/۰۰۰۷۵۸۵	۰/۶۹	-۰/۳۱۴	۳۲۷	۴۳۱۴۲۱	نفوذپذیری متوسط
۰	۰/۰۰۱۰۳۹	-۰/۰۰۰۳	۰/۰۰	۰	۲۲۸۹	نفوذ پذیری بالا
						جهت دامنه
۱/۳۲۷	۰/۰۰۱۳۸۱	۰/۲۹۹	۰/۲۸۴	۴۰	۲۹۰۱۱	۰ - (-۱)
۱/۳۲۶	۰/۰۰۱۳۸	۰/۲۹۷	۰/۲۸۳	۳۸	۲۷۵۷۹	۰ - ۲۲/۵
۱/۱۲۷	۰/۰۰۱۳۸	۰/۲۹۷	۰/۱۲۱	۹۴	۸۰۲۴۶	۲۲/۵ - ۶۷/۵
۰/۶۴۲	۰/۰۰۱۱۷۳	۰/۱۳۸	-۰/۴۴	۶۵	۹۷۳۷۹	۶۷/۵ - ۱۱۲/۵
۰/۹۱۳	۰/۰۰۰۶۶۸	-۰/۴۹۹	-۰/۰۸۹	۸۹	۹۳۸۰۸	۱۱۲/۵ - ۱۵۷/۵
۱/۰۹۱	۰/۰۰۰۹۵	-۰/۱۰۳	۰/۰۸۸	۱۰۷	۹۴۳۷۰	۱۵۷/۵ - ۲۰۲/۵
۱/۱۰۸	۰/۰۰۱۱۳۵	۰/۱۰۳	۰/۱۰۴	۱۲۰	۱۰۴۲۰۶	۲۰۲/۵ - ۲۴۷/۵
۰/۸۷۴	۰/۰۰۱۱۳۵	۰/۱۲۳	-۰/۱۳۲	۶۷	۷۳۷۱۲	۲۴۷/۵ - ۲۹۲/۵
۰/۹۷۲	۰/۰۰۱۱۵۳	-۰/۱۴۷	-۰/۰۲۶	۵۸	۵۷۳۷۷	۲۹۲/۵ - ۳۳۷/۵
۱/۱۹۹	۰/۰۰۰۹۱	-۰/۰۲۸	۰/۱۸۳	۳۲	۲۵۶۶۹	۳۳۷/۵ - ۳۶۰

$$GSPI_{FR} = \sum_{i=1}^m FR_i; (i = 1, 2, \dots, m) \quad [13]$$

نتایج

نقشه عوامل مؤثر بر وقوع چشمه‌ها

شکل شماره ۲، نقشه‌های تهیه شده تعدادی از عوامل مؤثر در

برای به دست آوردن شاخص پتانسیل ظهور چشمه آب زیرزمینی (GSP) برای یک سلول، برابر مجموع نسبت فراوانی آن سلول در تمام فاکتورها می‌باشد. اگر تعداد m فاکتور وجود داشته باشد، شاخص GSPI به صورت زیر نشان داده می‌شود.

جدول ۲. متغیرهای باقیمانده در مدل رگرسیون لجستیک و ضرایب آنها در گام دوازدهم

متغیرهای مستقل	B	S.E	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
درجه شیب	-۰/۱۲۲	۰/۰۱۱	۱۱۳/۸۱۴	۱	۰	۰/۸۸۵
شکل شیب	۰/۲۱۰	۰/۱۰۳	۴/۱۶۰	۱	۰/۰۴۱	۱/۲۳۴
زمین‌شناسی	-۰/۲۴۳	۰/۰۲۲	۱۲۲/۰۵۴	۱	۰	۰/۷۸۵
Plan curvature	-۰/۸۷۵	۰/۲۱۶	۱۶/۴۵۷	۱	۰	۰/۴۱۷
جهت دامنه	۰/۱۲۹	۰/۰۳۱	۱۷/۲۶۳	۱	۰	۱/۱۳۸
فاصله از آبراهه	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۵۰/۱۱۴	۱	۰	۰/۹۹۷
کاربری/پوشش اراضی	-۰/۴۴۰	۰/۰۴۹	۷۹/۲۸۴	۱	۰	۰/۶۶۴
شاخص قدرت آبراهه	-۰/۴۹۵	۰/۰۰۰	۷/۸۷۹	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۰
شاخص حمل رسوب	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۱۳/۲۳۵	۱	۰	۱/۰۰۳

بین هجده فاکتور به دلیل معنی‌دار بودن از لحاظ آماری در سطح آماری ۹۵ درصد، شناخته شد. در این مرحله پس از استخراج داده‌ها از لایه‌های اطلاعاتی (فاکتورهای مستقل)، ضرایب معادله احتمال وقوع چشمه براساس همبستگی متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، به صورت خودکار به دست آمدند جدول (۲). با توجه به این ضرایب، معادله Y به شکل زیر به دست آمد:

$$Y = ۰/۲۱(C) + ۰/۱۲۲(S) + ۰/۲۴۶ + ۰/۱۲(A) - ۰/۲۴(G) - ۰/۸۷(PLC) - ۰/۴۹۵(SPI) - ۰/۰۳(SD) - ۰/۴۴(L) + ۰/۰۰۸(STI) \quad [۱۴]$$

$$GSP_{LR} = \frac{e^Y}{1+e^Y} \quad [۱۵]$$

با قرار دادن Y در رابطه ۱۵ معادله نهایی که همان احتمال وقوع چشمه با روش رگرسیون لجستیک می‌باشد به دست آمد. که: LR_{GSP} احتمال وقوع چشمه در حوزه آبخیز چهل‌گزی و دامنه آن بین صفر تا یک می‌باشد. شکل (۳)، S : درجه شیب، C : انحنای دامنه، PLC : Plan Curvature، G : زمین‌شناسی A : جهت دامنه، L : کاربری اراضی / پوشش اراضی، SD : فاصله از آبراهه، SPI : شاخص توان آبراهه، STI : شاخص حمل رسوب می‌باشد.

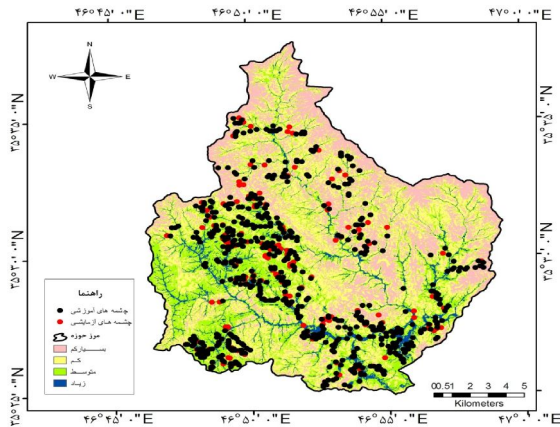
جدول متغیرهای مدل رگرسیونی (Variable in the Equation Table)

جدول شماره ۲ یکی از مهم‌ترین خروجی‌های رگرسیون

ایجاد چشمه‌ها را نشان می‌دهد. به طور مثال نقشه جهت دامنه در ۱۰ کلاس فلات (با آزمون ۱-)، دامنه‌های شمالی (۲۲/۵ - ۰ و ۳۶۰ - ۳۳۷/۵)، دامنه‌های شمال شرقی (۶۷/۵ - ۲۲/۵)، دامنه‌های شرقی (۱۱۲/۵ - ۶۷/۵) دامنه‌های جنوب شرقی (۱۵۷/۵ - ۱۱۲/۵)، دامنه‌های جنوبی (۲۰۲/۵ - ۱۵۷/۵)، دامنه‌های جنوب جنوب غربی (۲۴۷/۵ - ۲۰۲/۵)، دامنه‌های غربی (۲۹۲/۵ - ۲۴۷/۵)، دامنه‌های شمال غربی (۳۳۷/۵ - ۲۹۲/۵) طبقه‌بندی شد. شاخص نمناکی توپوگرافی (د) نفوذپذیری نسبی سنگ‌شناسی (ذ) فاصله از آبراهه‌ها (ر) شاخص قدرت آبراهه‌ها (ز) جهت دامنه (س) Profile Curvature (ش) فاصله از گسل‌ها (ص) کاربری و پوشش اراضی (ض) زمین‌شناسی (ط) تراکم گسل‌ها با همپوشانی نقشه پراکنش چشمه‌ها با هر یک از نقشه عوامل مؤثر بر پتانسیل وقوع چشمه‌ها، ضرایب مربوط به روش‌های نسبت فراوانی و وزن‌دهی شواهد طبق جدول (۱) به دست آمد.

پهنه‌بندی پتانسیل ظهور چشمه آب زیرزمینی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک

با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS 18، ضرایب مدل تخمین زده شد. پس از انجام آنالیزهای رگرسیونی لجستیک گام به گام پیشرو (Stepwise)، نه فاکتور مؤثر در وقوع چشمه از



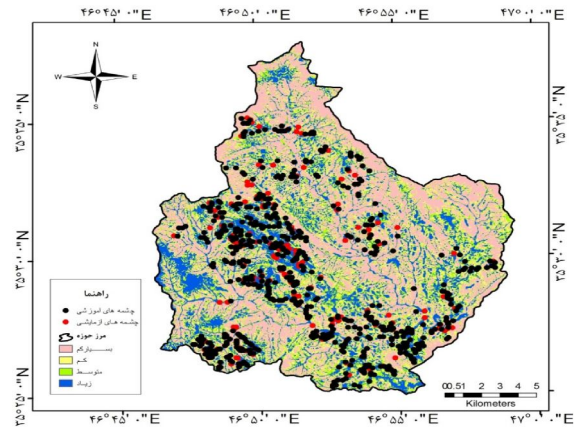
شکل ۴. نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی با روش نسبت فراوانی (GSP_{FR})

با متوسط بارندگی ۳۴۰ - ۳۰۰ میلی متر در اراضی باغات و میزان نفوذپذیری بالا با فاصله از گسل ۱۵۰ - ۰ متر و فاصله از آبراهه ۱۵۰ - ۰ متر، تراکم گسل ۳ - ۲/۵ و تراکم آبراهه ۵ - ۴ کیلومتر در واحد سطح (کیلومتر مربع) و انحناى مقعر، بالاتر بوده و به این معنی است که در حوضه مورد مطالعه پتانسیل ظهور چشمه در طبقات و شرایط ذکر شده بالاتر از سایر طبقات می باشد. با اعمال ضرایب نسبت فراوانی استخراج شده از جدول شماره (۱) به متغیرهای مستقل، نقشه پهنه بندی به روش نسبت فراوانی به دست آمد شکل (۴).

صحت سنجی روش های WOE، LR و FR

برای بررسی صحت روش های به دست آمده از منحنی ROC استفاده شد. قابلیت پیش بینی مدل توسط سطح زیر منحنی (AUC) مشخص گردید. هر چه مقدار سطح زیر منحنی ROC به ۱ نزدیک تر شود، دقت مدل بیشتر است (۹). نتایج بررسی صحت سنجی روش های FR، LR و WOE در شکل شماره ۵ نمایان است. نتایج نشان می دهد که هر سه مدل به دلیل مقدار سطح زیر منحنی بالاتر از ۷۹ درصد از صحت بالایی برخوردار هستند.

با توجه به جدول (۳) مقدار سطح زیر منحنی برای روش های LR، FR و WOE به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۸۹/۱ و ۰/۸۵/۸ به دست آمد. براساس مقدار سطح زیر منحنی و خطای استاندارد، صحت نقشه



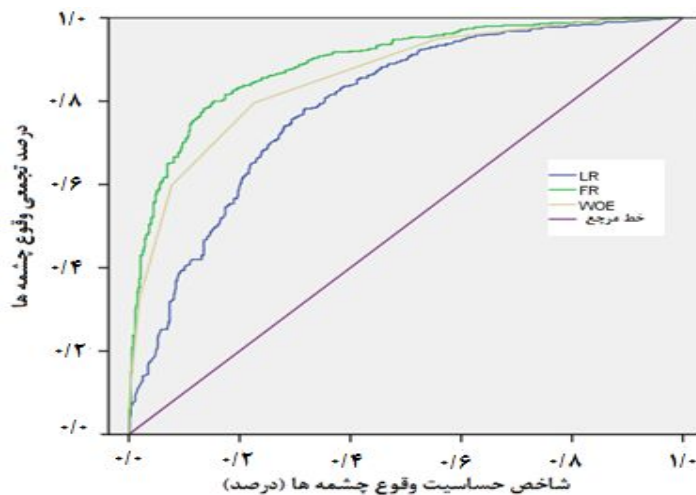
شکل ۳. نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی با روش رگرسیون لجستیک (GSP_{LR})

لجستیک می باشد چرا که ضرایب معادله $Y = B$ ، خطای استاندارد تخمین (SE) و مقادیر والد کای اسکور (Wald)، درجه آزادی (df)، معنی داری آماری در سطح ۹۵ درصد (Sig)، لگاریتم طبیعی ضریب رگرسیونی ($Exp(B)$)، را نشان می دهد. در اولین ستون اطلاعات، ضرایب نهایی مدل بعد از ۱۲ مرحله تکرار مدل نشان داده شده است جدول (۲).

پس از برآورد ضرایب (B) برای هر یک از متغیرهای مستقل، با ضرب نمودن این ضرایب در هر متغیر مستقل نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی توسط نرم افزار Arc GIS 9.3 بادامنه بین صفر تا یک به دست آمد شکل (۳).

پهنه بندی پتانسیل ظهور چشمه آب زیرزمینی با استفاده از روش نسبت فراوانی

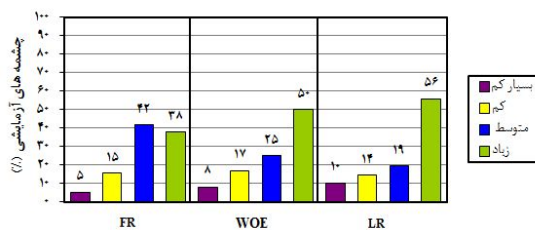
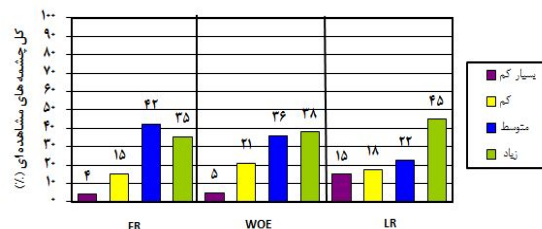
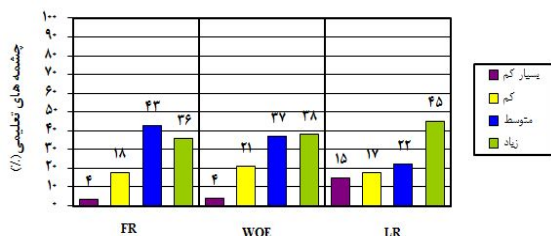
در این روش هر چه ضریب به دست آمده برای هر یک از طبقات یک عامل بیشتر از یک باشد، نشانه تأثیر بیشتر آن طبقه در ایجاد چشمه است Shirzadi (۲۴). به عنوان مثال؛ در عامل درجه شیب طبق جدول (۱) مقدار نسبت فراوانی در طبقات اول تا سوم یعنی از شیب صفر تا ۱۵ درجه بیشتر از ۱ و در سایر طبقات این عدد کمتر از یک می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده ضریب نسبت فراوانی، در شیب های ۱۰ - ۵ درجه و جهت مسطح و شمالی، طبقه ارتفاعی ۲۱۰۰ - ۲۰۰۰،



شکل ۵. ارزیابی صحت روش‌های LR، FR و WOE با استفاده از منحنی ROC

جدول ۳. خطای استاندارد و سطح زیر منحنی ROC نقشه‌های GSP حوزه چهل‌گزی

خطای استاندارد	سطح زیر منحنی	مدل مورد استفاده
۰/۰۱۴	۰/۷۹	رگرسیون لجستیک
۰/۰۱۰	۰/۸۹	نسبت فراوانی
۰/۰۱۲	۰/۸۵/۸	روش وزن‌دهی شواهد



شکل ۶. بررسی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی (GSP) براساس پراکنش چشمه‌ها در حوزه آبخیز چهل‌گزی

اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی

با روش‌های WOE، LR و FR

بررسی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده از چشمه‌های

پهنه‌بندی به‌دست آمده با روش نسبت فراوانی نسبت به دو روش

دیگر در منطقه مورد مطالعه، تأیید گردید.

تعلیمی (آموزشی)، آزمایشی و کل چشمه‌ها انجام گردید. با همپوشانی نقشه به دست آمده براساس روش‌های وزن‌دهی شواهد، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی و موقعیت مکانی چشمه‌ها، تعداد چشمه‌ها در هر طبقه تعیین و نمودار پراکنش آنها تهیه شد (شکل ۶). مشاهده شکل ۶ نشان می‌دهد، با توجه به درصد چشمه‌های واقع شده به ترتیب ۴۵، ۵۶ و ۴۵ درصد به ازاء نمونه‌های تعلیمی، آزمایشی و کل چشمه‌ها در طبقات با احتمال وقوع زیاد، روش رگرسیون لجستیک دارای بیشترین صحت نسبت به دو روش دیگر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک، وزن‌دهی شواهد و نسبت فراوانی و مقایسه کارایی این روش‌ها در حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان می‌باشد. از هفده عامل مؤثر در ظهور چشمه‌ها شامل: زمین‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، ارتفاع، نفوذپذیری نسبی سنگ‌شناسی، درصد شیب، جهت شیب، نقشه‌های انحنا (Profile Curvature, Curvature, Plan Curvature)، بارندگی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص حمل رسوب، توان آبراهه، شاخص نمناکی توپوگرافی، پوشش/کاربری ارضی استفاده شد. فاکتورهای شاخص نمناکی توپوگرافی، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب، میزان تأثیر توپوگرافی بر روی توزیع مکانی رطوبت خاک را نشان می‌دهند. مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد چشمه‌ها در روش وزن‌دهی شواهد عبارتند از: زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی/پوشش اراضی، شاخص نمناکی توپوگرافی، درجه شیب، شاخص حمل رسوب و شکل دامنه. با توجه به نتایج به دست آمده از این روش، در طبقه بالاتر از ۵۰۰۰ برای شاخص قدرت آبراهه‌ها، (۱-) تا (۳-) برای Plan Curvature، طبقه ۳-۴ از عامل Profile Curvature، فاصله ۱۵۰-۰ متری از شبکه آبراهه‌ها و گسل‌ها، طبقه ۲/۵-۳ برای تراکم گسل و ۵-۴ برای تراکم آبراهه‌ها، واحدهای آهکی و کنگلومرای بین سازندی در زمین‌شناسی، طبقه (۳-) تا

(۵-) عامل Curvature، برای جهت شیب ۰- (۱-) و ۲/۵-۰، طبقه ۱۶-۱۴ شاخص نمناکی توپوگرافی و بیشتر از ۳۰۰ برای شاخص حمل رسوب همچنین ارتفاع ۱۷۰۰-۱۶۰۰ بیشترین احتمال وقوع چشمه آب زیرزمینی را دارند. در روش رگرسیون لجستیک در اولین مرحله هر متغیری که دارای سطح معنی‌داری کمتر از مقدار مشخصی شود (۰/۰۵) در سطح اعتماد آماری (۰/۰۵) وارد مدل شده و متغیرهایی که در آخرین مرحله از مدل حذف شوند، مقادیر معنی‌داری بالاتر از ۰/۰۵ داشته و از مدل حذف می‌شوند. بنابراین، در مدل به دست آمده در این پژوهش، ۹ عامل از ۱۷ عامل در روند بررسی باقی مانده و بقیه از مدل حذف شدند. فاکتورهای انتخاب شده توسط مدل رگرسیون لجستیک عبارتند از: درجه شیب، شکل شیب، زمین‌شناسی، Plan Curvature، جهت شیب، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی/پوشش اراضی، شاخص قدرت آبراهه، شاخص حمل رسوب. با توجه به جدول شماره ۲ ضرایب معادله رگرسیون لجستیک بعد از ۱۲ مرحله اجرای مدل، نهایی شد. ضریب مثبت (B)، بیانگر آن است که آن متغیر در وقوع چشمه نقش بیشتری دارد و بالعکس ضریب منفی (B)، نمایانگر همبستگی ضعیف متغیر با وقوع متغیر وابسته (وقوع چشمه) است Ayalew (۱۱). مقدار ضریب منفی رگرسیون گویای مطلبی نیست، زیرا مقدار معنی‌داری آماری در سطح ۹۵ درصد که از آزمون والد به دست آمده‌اند در ستونی به نام sig ارائه شده است و این مقادیر برای تمامی متغیرها کمتر از ۰/۰۵ می‌باشند و به این معنی است که در سطح ۵ درصد آماری شواهد کافی برای صفر نبودن متغیرها وجود دارد (۸). این ضرایب فقط نشان‌گر همبستگی ضعیف متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌باشد. به عنوان مثال، ضریب فاصله از آبراهه، ۰/۰۰۳- به این معناست که با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، به‌ازای افزایش یک واحد فاصله از آبراهه، به مقدار لگاریتم شانس وقوع چشمه، ۰/۱ اضافه می‌شود. شانس وقوع چشمه ۰/۰۰۳- یا ۰/۱ می‌شود که این نشان دهنده تأثیری جزئی است. در این مطالعه عوامل درجه شیب، زمین‌شناسی، Plan Curvature، فاصله از آبراهه،

وقوع چشمه آب زیرزمینی مشاهده گردید. در ارتباط با عامل تراکم گسل‌ها و تراکم آبراهه‌ها بیشترین پراکنش چشمه‌ها در طبقه ۵/۲ - ۳ و ۵ - ۴ به دست آمد. مقدار نسبت فراوانی بیشتر در عامل Profile Curvature، در طبقه ۴ - ۳ و در کلاس بیشتر از ۳۰۰ برای شاخص حمل رسوب تعیین گردید. روش نسبت فراوانی تنها روشی است که تمام عوامل مورد بررسی در آن دخالت دارد. مقدار سطح زیر منحنی ROC برای هر سه روش این واقعیت را آشکار می‌سازد که روش‌های به کار گرفته شده در این مطالعه از توانایی خوبی در پیش‌بینی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی برخوردار بوده و در این میان روش نسبت فراوانی با داشتن سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸۹ همراه با خطای استاندارد ۰/۱۲، نسبت به روش‌های رگرسیون لجستیک و وزن‌دهی شواهد که به ترتیب سطح زیر منحنی ROC، ۰/۷۹ و ۰/۸۵/۸ داشته‌اند، برآورد بهتری داشته است. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج Corsini (۱۲) و Ozdmir (۲۲) هم‌خوانی دارد. در ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی، هر چه درصد چشمه‌های واقع در طبقات بالاتر نقشه پتانسیل تهیه شده بیشتر باشد نشان‌دهنده صحت نقشه به دست آمده براساس روش مورد نظر می‌باشد (۲۲). براساس چشمه‌های آزمایشی، تعلیمی و کل چشمه‌ها روش رگرسیون لجستیک، وزن‌دهی شواهد و نسبت فراوانی به ترتیب با داشتن مقدار ۴۵، ۵۶ و ۴۵ درصد وقوع چشمه‌ها در طبقه با احتمال وقوع زیاد، بیشترین صحت را دارا شدند. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد در منطقه مورد مطالعه برای برآورد و شناسایی مناطقی که بیشترین احتمال وقوع برای ایجاد چشمه آب زیرزمینی در آینده جهت استفاده در مواقع کم آبی را دارا هستند، از نقشه پهنه‌بندی با روش رگرسیون لجستیک استفاده گردد.

شاخص قدرت آبراهه و کاربری ارضی / پوشش ارضی ضریب منفی و اثر کمتری در ایجاد چشمه داشته‌اند و بالعکس فاکتورهای انحناى دامنه، جهت دامنه و شاخص حمل رسوب ضرایب مثبت و تأثیر بیشتری را در ایجاد یا وقوع چشمه‌ها در حوزه آبخیز چهل‌گزی دارند. نتایج روش نسبت فراوانی نشان داد که، در ارتباط با عامل شیب تعداد چشمه‌های بیشتر و در نتیجه نسبت فراوانی بزرگ‌تر در شیب‌های کمتر، طبقات ۵ - ۰ و ۱۰ - ۵ قرار گرفته‌اند، که با نتایج آقای ازدمیر که کمترین وقوع چشمه را در شیب ۱۰ درجه و بالعکس بیشترین وقوع چشمه را در شیب ۳۵ درجه گزارش کرده، مغایرت دارد. در رابطه با عامل ارتفاع مقدار نسبت فراوانی بالاتر در طبقه ارتفاعی ۱۷۰۰ - ۱۶۰۰ متر و فراوانی کمتر چشمه‌ها در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ - ۹۶۰ متر به دست آمد. بررسی عامل جهت شیب نشان داد بیشترین پراکنش چشمه‌ها در حوزه مورد مطالعه در جهت‌های شمالی و مسطح قرار داشت. با بررسی عامل فاصله از گسل و فاصله از آبراهه‌ها کلاس ۱۵۰ - ۰ متر، بیشترین مقدار نسبت فراوانی را به خود اختصاص دادند. ارتباط بین شاخص نمناکی توپوگرافی و چشمه‌ها در طبقه ۱۶ - ۱۴ بالاتر از سایر طبقات بود. همچنین برای شاخص قدرت آبراهه‌ها نیز وقوع چشمه‌ها در کلاس آخر، بالاتر از ۵۰۰۰ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. در عامل انحناى شیب (Curvature)، تعداد بیشتر چشمه‌ها را در کلاس (۳-) - (۵-) داشتیم که با نتایج آقای ازدمیر که بیشترین وقوع چشمه رو در طبقه ۸ - ۶ این عامل داشتند، هم‌خوانی ندارد. شاید به این دلیل باشد که نوع چشمه‌های منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (اکثراً نزدیک به آبراهه‌ها) با منطقه مورد مطالعه ازدمیر و همکاران (اکثراً در دامنه‌ها) متفاوت می‌باشد. نتایج روش نسبت فراوانی برای بارندگی نشان داد که در بارندگی ۳۴۰ - ۳۰۰ میلی متر بیشترین و در بارندگی ۳۸۰ - ۳۶۰ کمترین تعداد

منابع مورد استفاده

۱. رنگزن، ک.، ع. چرچی و ف. امیری. ۱۳۸۴. مقایسه تأثیر عوامل ساختاری- ژئورفولوژیکی در ظهور چشمه‌های محدوده قلعه

- رز- بیدروبه با محدوده تاقدیس پابده در شمال غرب و شمال شرق خوزستان. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران، ۵۳۹ - ۵۲۶.
۲. سلیمانی، ک.، س. زندی و ج. زندی. ۱۳۹۲. تهیه نقشه پتانسیل وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روشهای آماری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوهستانی میرده، کردستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۶، شماره ۱۲، ص ۸۷-۷۵.
۳. سیف، ع و ا. کارگر. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم جغرافیایی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرجان، فصل نامه جغرافیایی طبیعی. ۴(۱۲): ۹۰-۷۵.
۴. شریفی، پ. ۱۳۹۱. بررسی رسوبات پشت سازه های آبخیزداری جهت تعیین فرسایش و رسوب حوزه آبخیز. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران. ص ۱۵۵-۱.
۵. شیرزادی، ع. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای (ریزش سنگ) با استفاده از ارائه مدل منطقه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه مازندران (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)، ۱۳۰ ص.
۶. قبادی، م. ح. ۱۳۸۷. زمین‌شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان عمران). انتشارات دانشگاه شهید چمران، ص ۱۴۷.
۷. کلاتری، ن.، ع. خوباری و م. ص. درانی نژاد. ۱۳۹۱. بررسی نقش شکستگی‌ها در آبدهی چشمه چم آسیاب در شمال شرق استان خوزستان. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی. ۸(۱): ۷۲-۶۵.
۸. مصداقی، م. ۱۳۸۳. روش‌های رگرسیون در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۳۲ ص.
9. Akgun, A., E. A. H. A. Sezar, C. Nefeslioglu, B. Gokceoglu and B. Pradhan. 2012. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computer & Geosciences*. 38: 23-34.
10. Ayalew, L., H. Ymagishi, H. Marui and T Kanno. 2005. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. *Engineering Geology*. 81: 432-445.
11. Chowdhury, A., M. K. Jha, V. M. Chowdary and B. C. Mal. 2009. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *Int. J. Remote Sens*. 30: 231-250.
12. Corsini, A., F. Cervi and F. Ronchetti. 2009. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology* 111: 79-87.
13. Dar, I., K. Sankar and M. Dar. 2010. Remote sensing technology and geographic information system modeling: An integrated approach towards the mapping of groundwater potential zones in Hardrock terrain, Mamundiyan basin. *J. of Hydrology* 394: 285-295.
14. Ganapuram, S., G. T. Vijaya Kumar, I. V. Murali Krishna, E. Kahya and M. C. Demirel. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Adv. Eng. Softw.* 40: 506-518.
15. Ghosh, S and E. J. M. Carranza. 2010. Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rock sliding in Darjeeling Himalaya, India. *Geomorphology* 122: 1- 24.
16. Gogu, R. C., G. Carabin, V. Hallet, V. Peters and A. Dassargues. 2001. GIS based hydrogeological databases and groundwater modeling. *J. Hydrogeol.* 9(6): 555-569.
17. Jaiswal, R. K., S. Mukherjee, J. Krishnamurthy and R. Saxena. 2003. Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development – an approach. *Int. J. Remote Sens*. 24(5): 993-1008.
18. Madan, K. Jha., Y. Kamii and K. Chikamori. 2008. Cost-effective Approaches for sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer Systems, DOI 10.1007/s11269-008-9272-6. *Water Resoures Management*. 23: 219-233.
19. Nobre, R. C. M., O. C. R. Filho, W. J. Mansur, M. M. M. Nobre and C. A. N. Cosenza. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS. modeling and a fuzzy logic tool. *J. Contam. Hydrol.* 94: 277-292.
20. Oh, H. J., Y. S. Kim, J. K. Choi and S. Lee. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City. Korea. *J. Hydrol.* 399: 158-172.

21. Ozdemir, A. 2011a. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *J. Hydrology* 405(1-2): 123-136, Doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.015.
22. Ozdemir, A. 2011b. GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *J. Hydrology* 411: 290-308. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.010
23. Prasad, R. K., N. C. Mondal, P. Banerjee, M. V. Nandakumar and V. S. Singh. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environ. Geol.* 55: 467-475.
24. Shirzadi, A., L. Saro, Oh. Hyun-Joo and K. Chapi. 2012. A GIS-based logistic regression model in rock fall susceptibility mapping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran. *Natural Hazard.* 64: 1639-1656.
25. Solomon, S and F. Quiel. 2006. Groundwater study using remote sensing and Sørensen, R., Zinko, U., Seibert, J. 2005. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* 2: 1807-1834.
26. Surrrette, M., D. Allen and M. Journeay. 2008. Regional evaluation of hydraulic properties in variably fractured rock using a hydrostructural domain approach. *Hydrogeol. J.* 16(1): 11-30.
27. Tweed, S. O., M. Leblanc, J. A. Webb. and M. W. Lubczynski. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia. *Hydrogeol. J.* 15(1): 75-96.

Comparing the Efficiency of Weight of Evidence, Logistic Regression and Frequency Ratio Methods for Mapping Groundwater Spring Potential in Ghelgazi Watershed, Kordestan Province of Iran

M. Erfanian¹, H. Farajollahi¹, M. Souri¹ and A. Shirzadi^{2*}

(Received: March16-2015 ; Accepted : Dec. 6-2015)

Abstract

The aim of this study is to prepare the groundwater spring potential map using Weight of Evidence, logistic regression, and frequency ratio methods and comparing their efficiency in Chehlgazi watershed, province of Kurdistan. At first, 17 effective factors in springs occurrence including geology, distance to fault, fault density, elevation, relative permeability of lithological units, slope steepness, slope aspect, plan curvature, profile curvature, precipitation, distance to Stream, drainage Stream density, Sediment Transport Capacity Index (STCI), Stream Power Index, topographic wetness index (TWI) and land use/land cover (LU/LC) were selected. The validation processes of methods were conducted by relative performance characteristic curve (ROC). The area under an ROC curve (AUC) for the weight of evidence, logistic regression and frequency ratio was 85/8%, 79% and 89%, respectively. The results showed that all methods are suitable estimator for mapping the groundwater spring potential in the study area. But the frequency ratio method with the most amounts is the best method to produce and map the groundwater spring potential. Also, validation of the mappings based on the percentage of pilot springs, training springs and all springs showed that the logistic regression, WoE and frequency ratio, with 45, 56 and 45 percent of spring occurrence on the high potential classes respectively, had the highest validation.

Keywords: GSP, WoE, Logistic regression, Frequency ratio, ROC, Chelgazi watershed.

1. Dept. of Watershed Management Eng., College of Natural Resour., of Urmia, Urmia, Iran.

2. Dept .of Rangeland and Watershed Management Eng. College of Natural Resour., Univ. of of Kurdistan, Kurdistan, Iran

*: Corresponding Author, Email: A.shirzadi@uok.ac.ir